

RAPPORT

Overzicht van technologieën voor waterzuivering

In het kader van de herafweging verwerking
productiewater Schoonebeek

Klant: Nederlandse Aardolie Maatschappij

Referentie: BD9591R01-I&I-JS

Versie: 01/Finale versie

Datum: 9 december 2016

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Overzicht van technologieën voor waterzuivering

Ondertitel: Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek
Referentie: BD9591R01-I&I-JS
Versie: 01/Finale versie
Datum: 9 december 2016
Projectnaam: Overzicht van technologieën voor waterzuivering
Projectnummer: BD9591
Auteur(s): Evert Holleman, Jan Appelman, Jan Soons

Opgesteld door: Jan Soons

Gecontroleerd door: Jan Appelman

Datum/Initialen: 9 december 2016 

Goedgekeurd door: Jan Appelman

Datum/Initialen: 9 december 2016 

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The quality management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001.

Inhoud

1	Introductie	3
2	Uitgangspunten	3
3	Procesbeschrijving variant Tussenrapport	6
3.1	Processchema	6
3.1.1	Olieverwijdering	7
3.1.2	Optioneel: Silica verwijdering	7
3.1.3	Ontgassing	7
3.1.4	Verdampingsinstallatie (MVR)	8
3.1.5	Kristallisatie en ontwatering	8
3.1.6	Behandeling distillaat	8
3.2	Massabalans van de voornaamste stromen	9
3.3	Kosten	11
4	Procesbeschrijving variant Salttech	13
4.1	Processchema	13
4.1.1	DyVaR	13
4.2	Massabalans van de voornaamste stromen	14
4.3	Kosten	17
4.4	Risico's	18
5	Procesbeschrijving variant TU Delft	19
5.1	Processchema	19
5.1.1	Keramische membranen	20
5.1.2	GAC	20
5.1.3	ED	21
	Algemeen	21
	ED in line-up variant TU Delft	22
5.1.4	MVR/Kristallisatie in de line-up variant TU Delft	22
5.1.5	N/DN (nitrificatie/denitrificatie)	22
5.2	Massabalans van de voornaamste stromen	23
5.3	Risico's	25
6	Conclusies	27

Managementsamenvatting

1 Introductie

Op de productielocatie Schoonebeek wordt olie gewonnen met behulp van stoominjectie. Het hierbij vrijkomende productiewater wordt via een pijpleiding getransporteerd naar Twente waar het wordt geïnjecteerd in de lege gasvelden. Volgens de vergunning dient elke 6 jaar een herevaluatie plaats te vinden om te kijken of injectie van het productiewater nog steeds als beste methode kan worden beschouwd. Voor deze evaluatie wordt de door het ministerie van Economische Zaken goedgekeurde methode van CE Delft voor gebruikt.

Deze herevaluatie is in 2015 gestart en in 2016 is hierover door Royal HaskoningDHV een tussenrapportage opgeleverd. Een van de alternatieven die hierin werd beschreven was de variant om het productiewater water te zuiveren met lozing op het oppervlaktewater, zonder injectie van de reststroom. Voor deze variant zijn tijdens de studie verschillende mogelijkheden bekeken en op basis van verschillende criteria (technologisch, stakeholders, etc) is de variant om het aanwezig zout te kristalliseren en het behandelde water te lozen op oppervlakte water als beste naar voren gekomen.

Echter, na presentatie van het Tussenrapport zijn nog 2 varianten op dit alternatief (zuivering en lozing, zonder injectie) naar voren gekomen. Een daarvan is een technologie waarin verdamping en kristallisatie wordt gecombineerd in een installatie: de zogenaamde DyVaR technologie van de firma Saltech. De andere variant is gebaseerd op een combinatie van de toepassing van keramische membranen gevolgd door elektrolyse (ED) welke is aangedragen door de TU Delft. Beide varianten zijn in meerdere workshops met de betrokken partijen besproken en nader uitgewerkt. In dit document wordt de line-ups voor de drie verschillende varianten nader uitgewerkt.

Aan de opdrachtgever is gevraagd de gekozen alternatieven te toetsen op milieu, risico's en kosten. Hiervoor wordt de methode van CE Delft toegepast. Voor deze methode dient voor elk alternatief een zogenaamde 'Heat and Mass Balance' (HMB) te worden opgesteld, welke input geeft voor de 'Life Cycle Analysis (LCA) studie, de operationele kosten (OPEX). In hoofdstuk 2 staan de uitgangspunten beschreven, gevolgd door beschrijving van de gekozen processtappen, inclusief data uit de massa- en energiebalansen, investeringskosten (CAPEX) en operationele kosten (OPEX) in de hoofdstukken 3 (variant Tussenrapport), 4 (variant Saltech) en 5 (variant TU Delft).

De LCA resultaten voor de verschillende alternatieven zullen in een separaat document opgesteld door CE Delft worden gepresenteerd.

2 Uitgangspunten

In tabel 1 staat de aangenomen samenstelling van het productiewater van de productielocatie Schoonebeek gegeven. Uit de tabel volgt dat het productiewater uit een complex geheel bestaat en verschillende componenten bevat, zoals onder andere:

- Koolwaterstoffen (olie, aromatische verbindingen);
- Hardheid (calcium en magnesium ionen);
- Vaste deeltjes;

- Organisch materiaal;
- Zouten;
- Ammonia (NH_4/NH_3)
- Sulfide (opgelost H_2S).

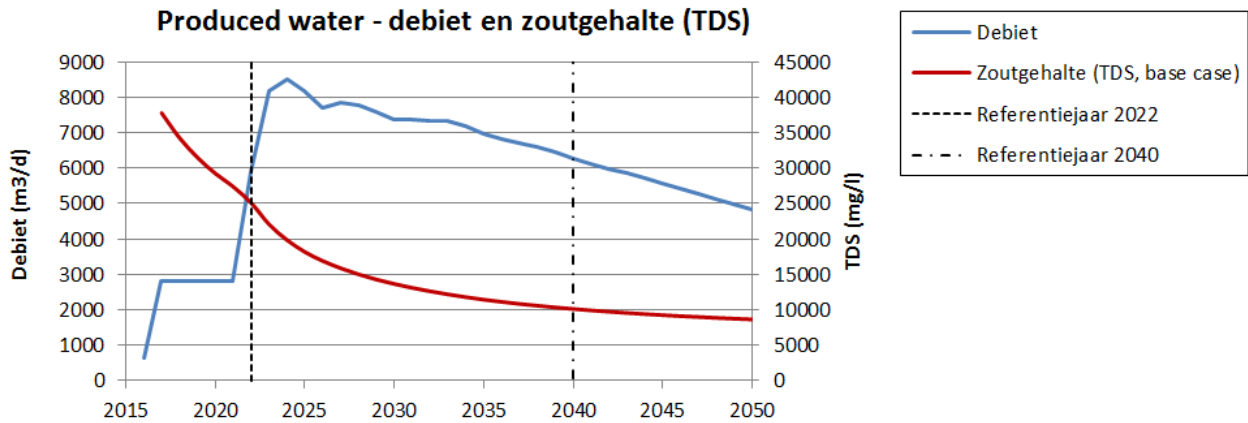
Uiteraard zijn veel technologieën toepasbaar voor de verwijdering van deze stoffen. Een belangrijk uitgangspunt is dat is gekozen voor robuuste en bewezen technologieën voor grootschalige toepassing. Sommige technologieën worden negatief beïnvloed door de aanwezigheid van bepaalde stoffen. Deze zullen voorafgaand verwijderd moeten worden. Dit leidt tot een veelvoud aan configuratiemogelijkheden welke zijn meegenomen in een initiële long-list. Dit wordt verder versterkt door het feit dat elke bestemming van het water (lozing, hergebruik) andere eisen zal stellen aan de zuivering. Dit geldt ook voor de verschillende bestemmingsopties van de gevormde restproducten, zoals de geproduceerde zoutproducten.

Tabel 1: Samenstelling productiewater Schoonebeek.

Parameter	Eenheid	Verwachte jaargemiddelde (2022)
pH (eenheden)	-	4 – 9
Temperatuur	°C	50
Total Dissolved Solids	mg/l	25.000
Total Suspended Solids	mg/l	48
Natrium (Na ⁺)	mg/l	7.800
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/l	282
Barium (Ba ²⁺)	mg/l	13
Arseen (As) ⁴	mg/l	<0,01
Kwik (Hg) ⁴	mg/l	<0,0001
Zwavelwaterstof (H ₂ S) ¹	mg/l	18
IJzer (totaal Fe ²⁺ en Fe ³⁺)	mg/l	8
Kalium (K ⁺)	mg/l	78
Strontium (Sr ²⁺)	mg/l	168
Chloride (Cl ⁻)	mg/l	15.000
Sulfaat (SO ₄ ²⁻) ⁴	mg/l	<14
Bicarbonaat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	545
Koolstofdioxide (CO ₂)	mg/l	565
Zuurstof (O ₂) ⁴	mg/l	<0,01
Olie en vetten	mg/l	10
Cadmium (Cd) ⁴	mg/l	<0,001
Koper (Cu) ⁴	mg/l	<0,01
Monoethylene Glycol (MEG) ⁴	mg/l	<200
Diethylene Glycol (DEG) ⁴	mg/l	<200
Triethylene Glycol (TEG) ⁴	mg/l	<200
Ethylbenzeen (C ₈ H ₁₀)	mg/l	0,25
Tolueen (C ₈ H ₅ CH ₃)	mg/l	1,5
Waterreiniger ²	mg/l	6,5
Zuurstofbinder ²	mg/l	9
Anti-schuimmiddel ²	mg/l	0,02
Chroom (Cr) ⁴	mg/l	<0,005
Benzeen (C ₆ H ₆)	mg/l	2
Lood (Pb) ⁴	mg/l	<0,01
Nikkel (Ni) ⁴	mg/l	<0,01
Zink (Zn) ⁴	mg/l	<0,02
pH- regelaar ²	mg/l	0,08
Biocide ^{2,3}	mg/l	400
Anti-aanslagvloeistof ²	mg/l	0,05
Anti-bariumsulfaataanslagvloeistof ²	mg/l	30
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	1.320
Xylenen (C ₆ H ₄ C ₂ H ₆)	mg/l	0,7
Anti-corrosievloeistof ^{2,3}	mg/l	60
Zwavelwaterstofbinder ^{2,3}	mg/l	120
Emulsiebreker ²	mg/l	4

De waarden uit tabel 1 zijn onderhevig aan verandering. In figuur 1 staan de schattingen voor de hoeveelheid productiewater en composities voor de periode tot 2050 gegeven op basis van de base case 2022 met een TDS concentratie van 25 g/l. Uit de figuren blijkt dat na een initiële toename in debiet (tot +/- 8000 m³/d), de water hoeveelheid zal dalen tot 5000 m³/d in 2050. De zoutgehalten laten een sterke daling zien, met concentratie van ongeveer 40 g/l in 2015 tot 10 g/l in 2050.

Naar de voorgestelde zuiveringsinstallatie zal een nieuw GRE leidingnetwerk worden aangelegd, waardoor geen anticorrosievloeistof of biocides meer nodig zijn.



Figuur 1: Hoeveelheid productiewater en TDS concentraties over de periode 2015 – 2050.

Voor het ontwerp en de kostencalculatie is uitgegaan van de 'worst-case', met een productiewater productie van 8000 m³/d bij een TDS gehalte van 25000 mg/l (Base case 2022).

3 Procesbeschrijving variant Tussenrapport

3.1 Processchema

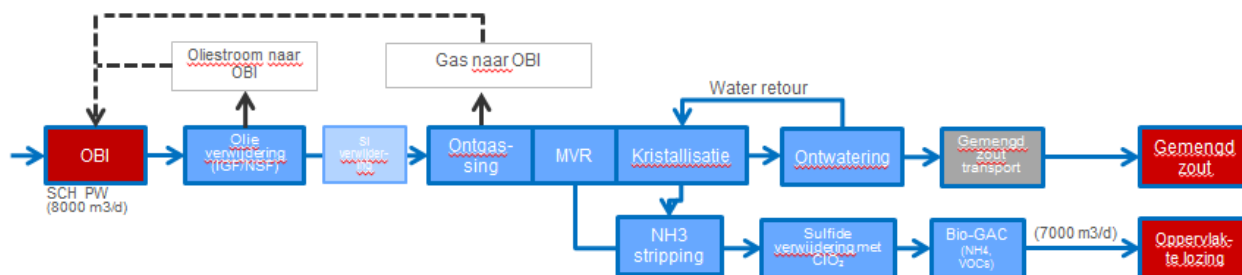
Het processchema bestaat uit de volgende stappen (zie figuur 2):

- Olieverwijdering,
- Silica verwijdering (optioneel),
- Ontgassing,
- Verdamping,
- Kristallisatie,
- Ontwatering.

De vluchtige componenten zullen in het distillaat terechtkomen en zullen voor dit geloosd kan worden moeten worden verwijderd. Hiervoor zijn de volgende stappen in het proces geïntegreerd:

- Ammoniak verwijdering (inclusief behandeling van de reststroom),
- Sulfide verwijdering,
- Verwijdering van vluchtige organische koolwaterstoffen (VOC),
- Koeling (optioneel).

De processtappen zullen in het onderstaande nader worden beschreven en uitgewerkt.



Figuur 2: Proces schema variant zoutkristallisatie en lozing op oppervlakte water.

3.1.1 Olieverwijdering

Productiewater na de OBI zal nog steeds een relatief hoge concentratie opgeloste olie (OiW) bevatten welke zal moeten worden verwijderd. De aanwezigheid van gedispergeerde en opgeloste koolwaterstoffen (opgeloste olie) kan tot problemen leiden tijdens verdamping en resulteren in een slechtere kwaliteit van het distillaat doordat er meer VOC (Volatile Organic Compounds = vluchtige organische stoffen) in het distillaat terecht zal komen. Op basis van gegevens van leveranciers is er vanuit gegaan dat de OiW concentratie met behulp van gas flotatie (IGF: induced gas flotation) kan worden terug gebracht tot waarden < 30 mg/l. Door na-schakeling van een nutshell filter (NSF) kan het OiW gehalte verder worden teruggebracht naar < 5 mg/l. De IGF installatie wordt gevoed met aardgas en de gevormde afvalstroom bedraagt ongeveer 2% van het influent. De gezamenlijke afvalstroom van de IGF en NSF zal worden teruggevoerd naar de OBI.

3.1.2 Optioneel: Silica verwijdering

Silica kan tot problemen leiden in de verdampers, vanwege afzetting op de wanden. Mocht de silica concentratie in het influent te hoog zijn, dan zal een extra silica stap nodig zijn. Deze kan geplaatst worden voor of na de ontgassing. Silica kan worden verwijderd door de pH te hogen. Andere opties zijn specifieke silica adsorptie technieken of d.m.v. anti-scalant dosering.

3.1.3 Ontgassing

Voor de verdampingsstap is het van belang om opgeloste gassen uit het water te verwijderen voorafgaand aan verdamping. Ontgassing wordt dan ook vaak geïntegreerd deel van de verdampingsinstallatie. Met name CO₂ is hierbij van belang omdat deze kan leiden tot neerslag van carbonaten tijdens de verdamping en scaling zal veroorzaken. Ook zal de verwijdering van gassen de energieconsumptie tijdens verdamping verlagen. Tijdens de ontgassing wordt het influent eerst verwarmd door middel van distillaat en wordt de pH verlaagd tot < 5,5 door zuurdosering (zoutzuur, maar eventueel ook zwavelzuur kan hiervoor worden gedoseerd). De gevormde gassen worden vervolgens gestripped (=uitgeblazen) door stoominjectie. Het strippgas wordt teruggeluid naar de OBI waar het wordt verbrand. Gecondenseerde stoom (een relatief zeer kleine fractie) wordt gemengd met het distillaat uit de verdampers, en daarna verder behandeld.

3.1.4 Verdampingsinstallatie (MVR)

Tijdens verdamping wordt het influent verwarmd tot het kookpunt. Voor de verwarming kan stoom worden gebruikt (thermische verdamping) of elektriciteit. Omdat de installatie volledig nieuw gebouwd moet worden en daarbij niet volledig is te integreren met de bestaande Schoonebeek installatie is hier initieel gekozen voor een robuust betrouwbare elektrische verwarming met mechanische damprecompressie (Mechanical Vapour Recompression installaties, MVR). Deze installaties zijn door Shell al meerdere malen toegepast voor de behandeling van productiewater.

Zoals beschreven is de voorzuivering erop gericht scaling-risico's in de MVR te beperken. Tevens kan scaling worden voorkomen door het kiezen van de juiste 'recovery': dit is de mate van indikking in de verdamper (dus de hoeveelheid distillaat wat wordt gevormd). Zoutconcentraties in de gevormde brijnstroom moeten laag genoeg blijven om neerslag van zouten in de verdamper te voorkomen. Er is uitgegaan van een maximale recovery van 85% omdat bij hogere concentratiefactoren zouten als NaCl neer zullen slaan. Dit betekent dat bij een influent van 8000 m³/d een distillaat stroom van 6800 m³/d wordt geproduceerd en een 1200 m³/d aan brijn.

In de praktijk zal echter een klein percentage van de opgeloste zouten in het distillaat terechtkomen, ongeveer 10-20 mg/l. Ook zullen vluchtige componenten als VOC's (incl BTEX), H₂S en ammoniak met de gasfase meegaan en grotendeels in het distillaat terechtkomen.

MVR installaties zijn goed in staat te opereren bij de geschatte huidige zoutconcentraties van het productiewater van Schoonebeek. Wanneer in de toekomst, zoals aangenomen, de zoutconcentratie verder afneemt zal dit resulteren in een verhoging van de recovery rate.

3.1.5 Kristallisatie en ontwatering

De voor kristallisatie benodigde zal stoom worden gegenereerd met een nieuw te bouwen boiler. Het gevormde brijn van de verdamper wordt door een warmtewisselaar in een kristallisatiereactor gerecirculeerd. In de warmtewisselaar wordt condenserend stoom als energiebron gebruikt, wat condenseert in de warmtewisselaar. Door verdamping van het water slaan zouten neer als kristallen. Hierbij ontstaat een ingedikte brijnstroom van 10-20%, welke verder wordt behandeld in een centrifuge. De waterfase uit de centrifuge wordt teruggeluid naar de kristallisatiereactor. Het gevormde slib, met een droge stof gehalte van ongeveer 90%, zal worden afgevoerd en gestort of –indien mogelijk- verder verwerkt.

3.1.6 Behandeling distillaat

NH₃ verwijdering

Vluchtige componenten, zoals NH₃, zullen in het distillaat terecht komen en voorafgaand aan lozing moeten worden verwijderd. Strippen van NH₃ wordt hier beschouwd als de meest geschikte optie omdat:

- Door middel van strippen het ammoniakgehalte voldoende kan worden verlaagd,
- Stoom gegenereerd wordt op site met een nieuw te bouwen boiler,
- Vanwege de lage buffer capaciteit van het distillaat weinig loog hoeft te worden gedoseerd om de pH te verhogen naar hogere pH,
- Hoge temperatuur van het distillaat zal strippen bevorderen,
- 'Co-stripping' van VOC's zal tevens plaatsvinden in deze stap,

- Het is een veel toegepaste, bewezen technologie.

Na stripping zal de NH_3 -damp worden gecondenseerd waarbij de dosering van een kleine hoeveelheid zwavelzuur ervoor zorgt dat vrijwel alle NH_3 als ammoniumsulfaat in het condensaat terecht komt. Afhankelijk van de samenstelling kan dit product worden hergebruikt of als afval worden afgevoerd.

Een andere mogelijkheid om NH_3 te verwijderen is de toepassing van een biologische zuiveringsstap waarbij ammonium door bacteriën wordt omgezet in nitraat en vervolgens stikstofgas. Deze optie zal een aanzienlijke lager energieverbruik hebben ten opzichte van strippen, maar een hogere CAPEX. Deze optie is niet meegenomen hier omdat deze –voor de toepassing zoals hier beschreven - als minder robuust wordt beschouwd. Vanwege het fluctuerend zoutgehalte kunnen bacteriën in de bioreactor slecht functioneren of zelfs afsterven, wat tot een onbetrouwbare installatie leidt. Ook zou kunnen worden gekeken naar het strippen met behulp van lucht in plaats van gas.

Verwijdering van opgelost sulfide

Op basis van modelberekeningen wordt de sulfide-concentratie in het distillaat geschat op 60-80 mg/l. Om aan lozingseisen te voldoen zal sulfide daarom moeten worden verwijderd. Dit kan worden gedaan door chemische oxidatie met chloordioxide. Chloordioxide wordt gedoseerd en met behulp van een statische mixer wordt een snelle en goede menging geborgd. De reactie vindt snel plaats. Sulfide en chloordioxide worden in deze reactie omgezet in zwavelzuur en chloride.

Ook deze techniek is een bewezen technologie en wordt onder andere toegepast bij drinkwater productie.

Verwijdering van vluchtige organische componenten

Ondanks het feit dat het meeste organische materiaal in de voorzuivering zal worden verwijderd zullen er toch VOC's zoals vluchtige vetzuren en BTEX in het distillaat terechtkomen. Deze kunnen worden verwijderd door middel van een actief kool stap. De VOC's zullen aan de kool adsorberen en zo uit de waterfase worden verwijderd. Wanneer de adsorptiecapaciteit is verbruikt zal deze moeten worden geregenereerd. Dit gebeurt door de kool op een externe locatie te verbranden (inclusief behandeling van het gas). Op basis van modelberekeningen wordt echter aangenomen dat de concentraties VOC's laag zullen zijn en de regeneratiefrequenties van de actief kool filters laag.

Ook deze technologie wordt veelvuldig toegepast en is een robuuste en bewezen technologie.

3.2 Massabalans van de voornaamste stromen

In dit hoofdstuk worden de voornaamste processtromen welke van belang zijn voor de LCA studie uit de bovenstaande processen kort samengevat. In hoofdstuk 5 zullen de kosten voor de OPEX en CAPEX worden gegeven.

Voorzuivering

De productiewaterhoeveelheid in Schoonebeek bedraagt $8000 \text{ m}^3/\text{d}$. Bij de oliescheiding wordt naar schatting $4 \text{ MWh}/\text{d}$ aan elektriciteit verbruikt. De afgescheiden olie/water reststroom van $240 \text{ m}^3/\text{d}$ wordt teruggevoerd naar de OBI.

Verdamping en kristallisatie

Voor de ontgassing voorafgaand aan de verdamping wordt eerst de pH verlaagd door de dosering van 35% zoutzuur; in totaal ongeveer 10 ton per dag.

Tevens wordt stoom geïnjecteerd om te zorgen voor de stripping van het gas: deze hoeveelheid is ook geschat op 10 ton per dag. Het afgevangen gasmengsel van CO₂, H₂O, VOC's en H₂S wordt teruggeleid naar de OBI en verbrand in de gasturbine of stoomboiler.

In de verdamer wordt het inkomende water ingedampt middels elektrische energie: 312 MWh/d. Het influent wordt voor 85% ingedampt, resulterend in een brijnstroom van 1200 m³/d en een distillaatstroom van 6800 m³/d. Verdere opwarming in de kristallisatie fase resulteert in een extra energieverbruik van 515 MWh/d. Hier wordt de brijnstroom verder ingedikt onder de vorming van zoutkristallen tot een product met 10-20% droge stof. Het vrijgekomen water vanuit de ontwatering gaat terug naar de kristallisatie, en diluaat van de kristallisatie kan ofwel direct met het effluent worden geloosd of worden gemengd met het distillaat van de MVR. Totale mixed zout stroom (90%) bedraagt 200 ton per dag en de geproduceerde hoeveelheid distillaat wordt geschat op 7000 m³/d.

Distillaat behandeling

- Voor de NH₃-stripping wordt 4 ton per dag aan NaOH en 185 MWh/d per dag aan stoom geïnjecteerd. De gevormde hoeveelheid ammoniumsulfaat bedraagt 0,7 ton per dag.
- Sulfide-verwijdering: hiervoor wordt 8 m³/d aan ClO₂ gedoseerd (20% oplossing).
- Het actieve kool verbruik voor de verwijdering van VOC's is geschat op 24 ton per jaar.

Net als voor de andere varianten het geval is, zou kunnen worden gekozen voor een alternatieve stikstof verwijderingstechnologie met een lager energieverbruik, zoals strippen met lucht of een biologisch proces. Dat deze opties hier niet zijn meegenomen heeft er mee te maken dat hier is gekozen voor robuuste technologieën.

Overzicht procesgegevens

In onderstaande tabel staan de procesgegevens voor de variant MVR en kristallisatie per processtap weergegeven.

Tabel 2: Overzicht verbruik en procesdata van de Tussenrapport variant: MVR en kristallisatie.

Processtap	Eenheid	Olieverwijdering	Ontgasser	MVR	Kristallisatie	NH3 stripping	NH3 omzetting	Oxidatie sulfide	GAC filter	Totaal
Influent	m3/d	8000								8000
<u>Reststroom/producten</u>										
Behandeld effluent	m3/d								7000	7000
Gemengd zout (=afvalproduct)	Ton/d				200					200
Ammoniumsulfide (voor hergebruik)	Ton/d						0,7			0,7
<u>Consumptie</u>										
Gas	MWh/d									
Stoom	MWh/d		1		515	185				701
Elektriciteit	MWh/d	4		312						316
Totaal energie	MWh/d									1017
HCl	Ton/d		10							10
NaOH	Ton/d					4				4
ClO2 (20%)	m3/d							8		8
H ₂ SO ₄	Ton/d						0,7			0,7
Actieve kool	Ton/j								24	24

3.3 Kosten

In de onderstaande tabel zijn de voornaamst operationele- en investeringskosten voor deze variant weergegeven.

Tabel 3: CAPEX en OPEX van de Tussenrapport variant: MVR en Kristallisatie (zuivering en lozing, zonder injectie van de reststroom).

Processtap	Eenheid	Voorzuivering	Ontgasser	MVR	Kristallisatie	NH3 stripping	NH3 omzetting	Oxidatie sulfide	GAC filter	Overige	Totaal
CAPEX											
Proces units	Mln EUR	6	In MVR	34	10	4			2	6	62
Aansluiting op OBI (civiel, pijpleidingen en controlesysteem, vast zout logistiek, tijdelijke equipment)											20
Overheads (contingency, mark escalatie, inflatie, transport, project management.)											41
Totaal waterbehandeling											123
H2S mitigatie pijplijn											110
OPEX											
Energie	Mln EUR/jaar	0,2		12	9,5	3,5					25,2
Reststoffen	Mln EUR/jaar									3	3
Chemicaliën	Mln EUR/jaar			0,7		0,4		2,4			3,5
Bedrijfsvoeringen onderhoud	Mln EUR/jaar			0,7	0,2					2,1	3
Totaal OPEX	Mln EUR/jaar										34,7
CAPEX + 10 j OPEX											580

Het kopje 'overige' bestaat onder andere uit de investeringskosten voor tanks, pompen, transformatoren en MCC gebouwen.

De gepresenteerde CAPEX van de proceseenheden en OPEX van energie en chemicaliën zijn afgeleid van de 'kosten standaard' van Royal HaskoningDHV, welke is gebaseerd op de benchmark-data afkomstig van de Nederlandse Drinkwaterleiding bedrijven. De voornaamste kostenposten zijn vervolgens gecontroleerd en aangevuld met aanvragen van specifieke offertes voor installaties (zoals voor de MVR- en kristallisatie-units etc.) en meest actuele kosten voor verbruiksgoederen zoals chemicaliën, energie etc en voor de afvoer en/of waarden van gevormde restproducten.

De investeringskosten voor de aansluiting op de OBI, overheads en H₂S mitigatiepijplijn zijn van NAM afkomstig en met gebaseerd op benchmarks van NAM. Een groot deel van de overhead is zogenaamde contingency, wat een grote waarde is in deze conceptuele fase. Indien meer scope definitie bekend is (na een zogenaamde FEED studie door een aannemer) zullen de basiskosten meestal toenemen en de contingency afnemen.

De operationele kosten van reststoffen en gedeeltelijk operaties/onderhoud zijn van NAM afkomstig.

4 Procesbeschrijving variant Salttech

4.1 Processchema

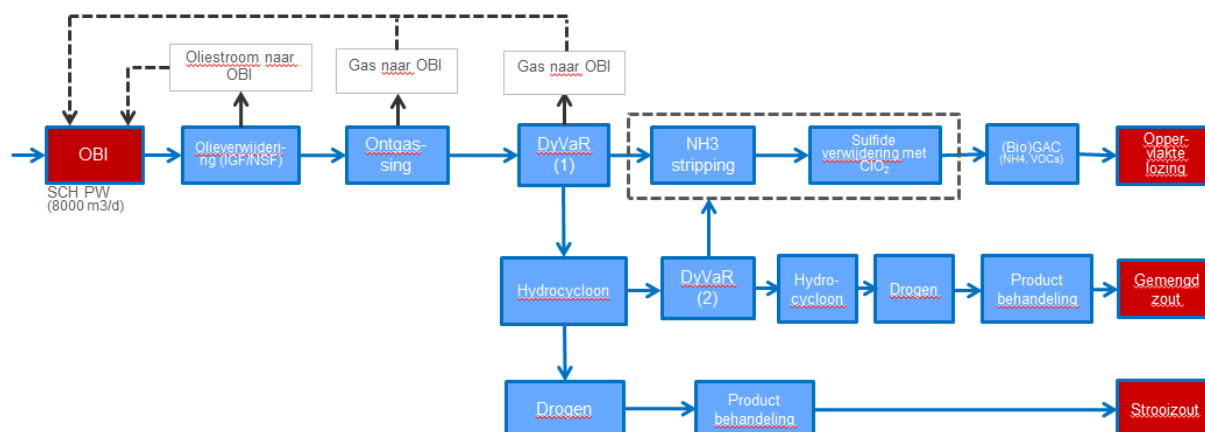
Het processchema bestaat uit de volgende stappen (zie figuur 3):

- Olieverwijdering,
- Silica verwijdering (optioneel),
- Ontgassing,
- DyVaR (stap 1: behandeling voorbehandeld productiewater)
- DyVaR (stap 2: behandeling brijnstroom afkomstig uit DyVaR 1).

De vluchtige componenten zullen in het distillaat terechtkomen en zullen voor dat dit geloosd kan worden moeten worden verwijderd. Hiervoor zijn de volgende stappen in het proces geïntegreerd:

- Ammoniak verwijdering (inclusief behandeling van de reststroom),
- Sulfide verwijdering,
- Verwijdering van vluchtige organische koolwaterstoffen,
- Koeling (optioneel).

De processtappen zullen in het onderstaande nader worden beschreven en uitgewerkt. Een aantal processtappen zijn gelijk aan de in het vorige hoofdstuk beschreven line-up. Het betreft de stappen voorafgaand aan de DyVaR–units (olieverwijdering, silica verwijdering en ontgassing) en alle behandelingsstappen van de vluchtige componenten in het distillaat. Voor de beschrijvingen van deze processen wordt verwezen naar de beschrijvingen in hoofdstuk 3.



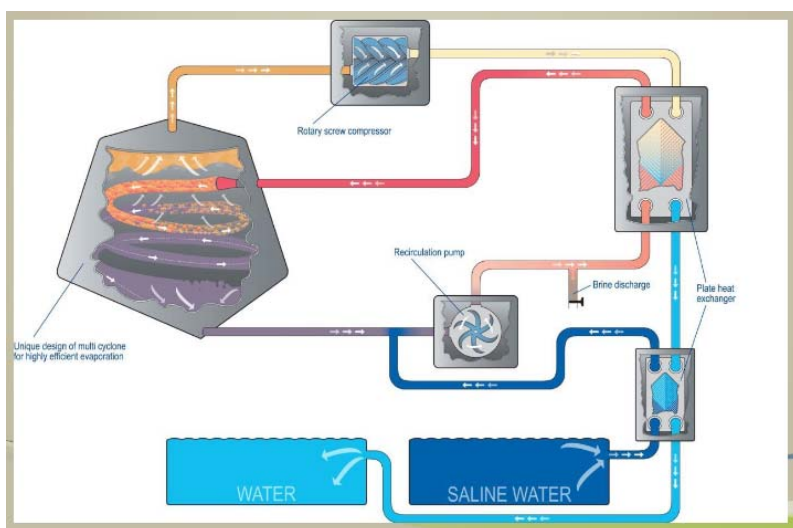
Figuur 3: Processchema line-up variant Salttech met DyVaR technologie.

4.1.1 DyVaR

De DyVar-technologie is een gepatenteerde technologie waarin verdamping en kristallisatie worden gecombineerd in een enkele processtap, waardoor het energieverbruik kan worden verminderd t.o.v. line-ups waarin deze processen in gescheiden processtappen plaatsvinden. Het influent wordt op een speciale manier in de verdampingsunit geïnjecteerd waardoor deze tevens een cyclonische werking heeft.

Hierdoor ontstaat er een beschermende waterlaag aan het oppervlak welke de verdampingsunit beschermt tegen scaling en corrosie.

In de units zal verdamping van het water plaatsvinden. De warmte die vrijkomt tijdens de condensatie van de damp wordt door warmtewisselaars eerst gebruikt om de interne brijn-recirculatiestroom op te warmen. Daarna wordt in een nageschakelde warmtewisselaar de restwarmte gebruikt om het influent op te warmen (zie figuur 3). Doordat scaling kan worden voorkomen kunnen relatief hoge indikkingsfactoren worden toegepast en zal kristallisatie plaatsvinden in de verdampingsunits. De gevormde brijnstroom zal verder moeten worden ontwaterd in een hydrocycloon en eventueel gedroogd.



Figuur 4: Schematische weergave van de DyVaR technologie.

Voor de toepassing op het productiewater van Schoonebeek is gekeken naar de optie om strooizout te produceren uit de brijnstroom. Doordat in de DyVaR de indikkingsfactor kan worden aangepast kan het kristallisatieproces worden gestuurd. Hierdoor biedt deze technologie potentieel goede mogelijkheden voor de productie van specifieke zoutstromen. Echter, uit nadere studie is gebleken dat de vorming van een zoutproduct dat voldoet aan de specificaties voor strooizout, in combinatie met volledige ontzouting van het influent, niet mogelijk is in één DyVaR stap. Vandaar dat in de gepresenteerde line-up een tweede DyVaR stap is opgenomen waarin het vloeibare brijn uit de hydrocycloon van de eerste DyVaR stap verder wordt behandeld.

4.2 Massabalans van de voornaamste stromen

In dit hoofdstuk worden de voornaamste processtromen welke van belang zijn voor de LCA studie uit de bovenstaande processen kort samengevat. In hoofdstuk 5 zullen de kosten voor de OPEX en CAPEX worden gegeven.

Voorzuivering

De productiewater hoeveelheid in Schoonebeek bedraagt 8000 m³/d. Bij de oliescheiding wordt naar schatting 4 MWh/d aan elektriciteit verbruikt. De olie reststroom van 240 m³/d wordt teruggevoerd naar de OBI.

DyVaR

In afstemming met de Salttech is ingeschat dat dat er geen chemicaliën aan de DyVaR unit hoeven te worden gedoseerd. De units verbruiken (elektrische) energie voor de recirculatie pompen en de compressoren. Tevens zal een kleine hoeveelheid energie nodig zijn om de gevormde zoutstroom na de hydrocycloon te drogen. In totaal bedraagt de geschatte energie-consumptie 418 MWh/d. In beide DyVaR-stappen wordt 100 ton aan strooizout (stap 1, volgens de theoretisch berekende kwaliteit) en mixed zout (stap 2) gevormd.

Distillaat behandeling

- Voor de NH₃-stripping wordt 4 ton per dag aan NaOH en 185 MWh/d per dag aan stoom geïnjecteerd. De gevormde hoeveelheid ammoniumsulfaat bedraagt 0,7 ton per dag.
- Sulfide-verwijdering: hiervoor wordt 8 m³/d aan ClO₂ gedoseerd (20% oplossing).
- Het actieve kool verbruik voor de verwijdering van VOC's is geschat op 24 ton per jaar.

Een andere mogelijkheid om NH₃ te verwijderen is strippen met lucht of de toepassing van een biologische zuiveringsstap waarbij ammonium door bacteriën wordt omgezet in nitraat en vervolgens stikstofgas. Deze laatste optie zal een aanzienlijke lager energieverbruik hebben ten opzichte van strippen met gas, maar een hogere CAPEX. Deze optie is niet meegenomen hier omdat deze –voor de toepassing zoals hier beschreven als minder robuust is beschouwd. Zie ook het commentaar bij de Tussenrapport variant.

Overzicht procesgegevens

In onderstaande tabel staan de procesgegevens voor de variant met Salttech technologie per processtap weergegeven.

Tabel 4: Overzicht verbruik en procesdata van variant Salttech.

Processtap	Eenheid	Voorzuivering	Ontgasser	DyVaR 1	DyVaR 2	NH3 stripping	NH3 omzetting	Oxidatie sulfide	GAC filter	Totaal
<u>Influent</u>	m3/d	8000								8000
<u>Reststroom/producten</u>										
Behandeld effluent	m3/d								7000	7000
Gemengd zout (=waste)	Ton/d				100					100
Strooizout	Ton/d			100						100
Ammoniumsulfide (hergebruik)	Ton/d						0,7			0,7
<u>Consumptie</u>										
Gas	MWh/d									
Stoom	MWh/d		1			185				186
Elektriciteit	MWh/d	4		400	18					422
Totaal energie	MWh/d									608
HCl	Ton/d		10							10
NaOH	Ton/d					4				4
ClO2 (20%)	m3/d							8		8
H ₂ SO ₄ (100%)	Ton/d						0,7			0,7
Actieve kool	Ton/j								24	24

4.3 Kosten

In de onderstaande tabel zijn de voornaamst operationele- en investeringskosten voor deze variant weergegeven.

Tabel 5: OPEX en CAPEX variant Salttech.

Processtap	Eenheid	Oliever- wijdering	Ontgasser	DyVaR 1	DyVaR 2	NH3 stripping	NH3 omzetting	Oxidatie sulfide	GAC filter	Overige	Totaal
CAPEX											
<u>Proces units</u>	Mln EUR	6			40	4			2	6	58
Aansluiting op OBI (civil, pijpleidingen en controlesysteem, vast zout logistiek, opslag tanks, tijdelijke equipment)											20
Overheads (contingency, mark escalatie, inflatie, transport, project management.)											41
Totaal waterbehandeling											119
H2S mitigatie pijplijn											110
OPEX											
Energie	Mln EUR/jaar	0,2			16	3,5					19,7
Reststoffen	Mln EUR/jaar										1,5
Chemicaliën	Mln EUR/jaar					0,4		2,4			2,8
Operaties en onderhoud	Mln EUR/jaar				1,1					2,1	3,2
Totaal OPEX	Mln EUR/jaar										27,2
CAPEX + 10 j OPEX	Mln EUR										501

Het kopje 'overige' bestaat onder andere uit de investeringskosten voor tanks, pompen, transformatoren en MCC gebouwen.

Voor de opbouw van de kosten wordt gerefereerd naar de voetnoot onder tabel 3 uit paragraaf 3.3. Additioneel zijn voor deze variant de CAPEX en OPEX voor de DyVaR units gebaseerd op de ontvangen budget schatting en gegevens van de firma Salttech. Uit de tabel blijkt zijn van de totale kosten (229 mln EUR) 40 Mln EUR voor de Salttech technologie (17%). Voor de jaarlijkse OPEX is 16 mln EUR op een totaal van 27,2 mln EUR: 59%.

De Salttech variant zal om ontwikkeld te worden specifiek voor de Schoonebeek waterbehandeling, een onzekerheid hebben in definitie van de scope en daardoor in kosten. De Tussenrapport variant heeft een onzekerheid in kosten van -25% tot +40%. De Salttech variant met zijn DyVaR technologie geeft vanwege de combinatie van indamping en kristallisatie een minder complexe behandeling, maar vanwege de grote hoeveelheid units zal de onzekerheid weer iets toenemen. Geschat wordt dat de onzekerheid in deze ontwerpfase, in samenhang met alle andere elementen in de zuivering, toch zeker ook -25% tot +40% zal bedragen.

4.4 Risico's

De grootste, in gebruik zijnde, DyVaR-installatie heeft een capaciteit van minder dan 5% van de benodigde capaciteit voor Schoonebeek en is minder dan 4 jaar in bedrijf. Hoewel de DyVaR technologie vanuit een procestechnologisch oogpunt bewezen is, zullen aantal risico-mitigerende maatregelen nodig zijn op het gebied van betrouwbaarheid en onderhoud, alvorens deze technologie voor Schoonebeek toepast zou kunnen worden. Het is van belang dat deze risico's nader onderzocht worden gezien het feit dat deze systemen zwaar belast zullen worden en betrekkelijk weinig informatie beschikbaar is wat betreft de robuustheid op de langere termijn en noodzakelijke onderhoud van de installaties. Het feit dat het systeem uit zeer veel DyVaR (verdampings-) units bestaat (voor Schoonebeek zijn ongeveer 6000 eenheden nodig), zal leiden tot additionele operationele en onderhouds-risico's. Geschat is dat voor de uitvoer van deze testen en het concept te ontwikkelen, zodat het specifiek voor Schoonebeek kan worden ontworpen, een jaar nodig zal zijn.

5 Procesbeschrijving variant TU Delft

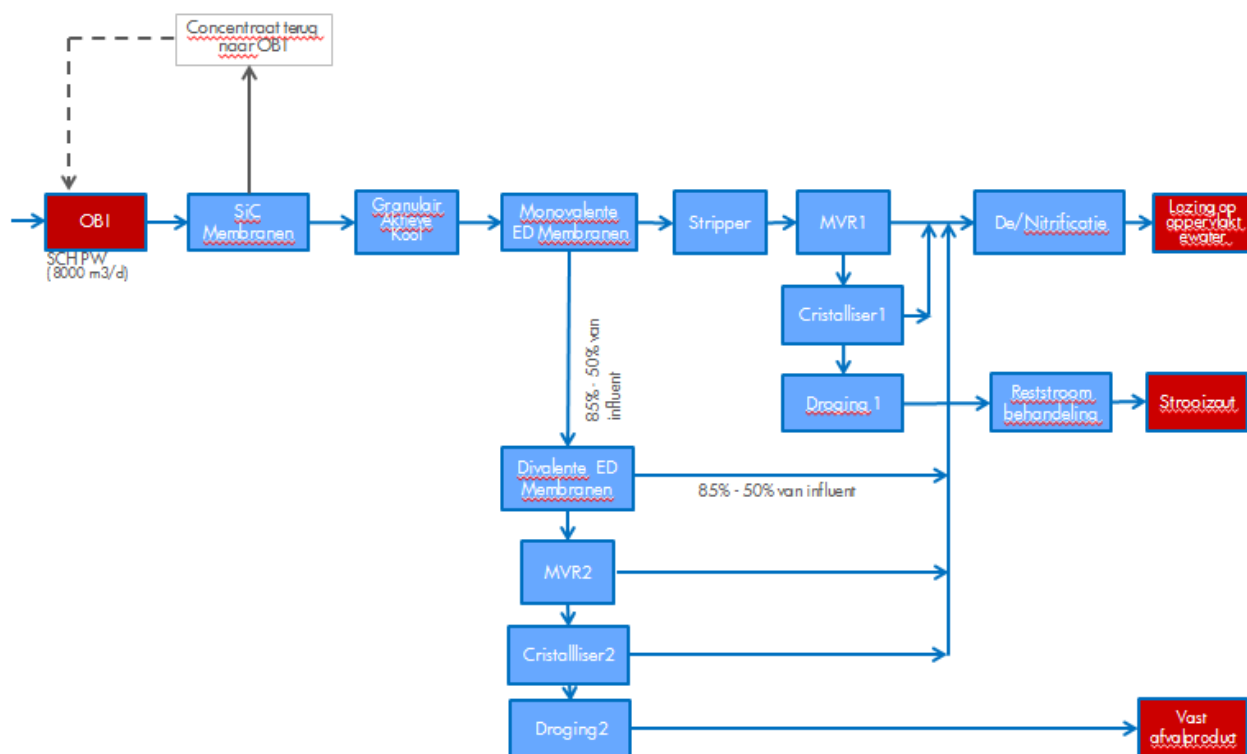
5.1 Processchema

De variant voorgesteld door de TU Delft is conceptueler van aard dan de andere 2 varianten, doordat verschillende technologieën in deze line-up nog niet op full-scale zijn toegepast voor productiewater behandeling. Hierdoor zal deze variant nader bestudeerd moeten worden en pilottesten uitgevoerd om tot een ontwerp te komen in hetzelfde detail als de NAM en Saltech varianten.

Het processchema voorgesteld door de TU Delft bestaat uit de volgende stappen (zie figuur 5). De onzekerheden zitten met name in de toepassing van keramische membranen en elektrolyse als zuiveringsstappen voor productiewater.

- Olieverwijdering,
- Keramische membranen,
- Aktieve kool,
- Monovalente elektrolyse (ED),
- Stripping van de productstroom van de monovalente ED,
- MVR + Kristallisatie op de productstroom van de monovalente ED,
- Divalente ED passage van de reststroom van de ED,
- MVR + Kristallisatie op de productstroom van de divalente ED en
- Biologische nitrificatie/denitrificatie van de productstroom monovalente ED, reststroom divalente ED en distillaat MVR.

De processtappen, met uitzondering van de eerder beschreven olieafwijderings- en strippingstap, zullen in het onderstaande nader worden beschreven en uitgewerkt.



Figuur 5: Processchema variant TU Delft, met Keramische Membranen gevolgd door Elektrodialyse.

5.1.1 Keramische membranen

De OiW gehalten na de OBI zullen te hoog zijn voor een directe toepassing van elektrodialyse. Daarom zijn keramische membranen als voorzuivering geplaatst. Het voordeel van keramische membranen is dat deze veel sterker zijn dan polymeer membranen en dat daarom strengere reinigingsregimes kunnen worden toegepast en vervuilingen beter kunnen worden verwijderd. Dit maakt deze membranen tevens geschikt voor de verwijdering van OiW (deze zullen bij polymeermembranen vaak leiden tot blijvende vervuiling). De poriegrootte van deze membranen ligt meestal in het gebied van de ultrafiltratie waardoor alle deeltjes van grofweg tussen 10 nm en 100 nm (de exacte poriegrootte zal afhankelijk zijn van de gekozen membranen) door de membranen zullen worden tegengehouden.

Keramische membranen worden voor verschillende toepassingen gebruikt. Echter, zoals in de inleiding reeds is aangegeven zijn er nog weinig referenties voor de toepassing op productiewater. Testen zullen daarom nodig zijn voordat deze technologie met zekerheid voor Schoonebeek kan worden ingezet.

5.1.2 GAC

Het permeaat van de keramische membranen zal kleinere componenten als zouten, BTEX, gedoseerde chemicaliën en gassen (H_2S) bevatten. Electro dialyse membranen zijn erg gevoelig voor fouling, vandaar dat na de keramische membranen een actief kool filter is geplaatst. Deze filters zijn goed in staat om BTEX te verwijderen. Dit is in het bijzonder van belang omdat opgeloste koolwaterstoffen potentieel zullen

leiden tot schade aan de ED membranen. Het verwijderingsrendement voor H_2S en chemicaliën zal nader moeten worden onderzocht.

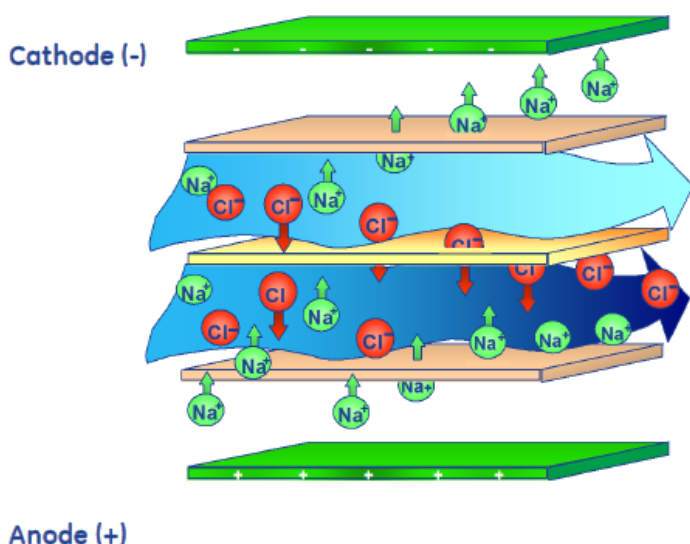
Aktieve kool is kool welke is bewerkt om de adsorptiecapaciteit te verhogen. In het filter zullen verontreinigingen adsorberen aan de kool en zo uit de waterstroom worden verwijderd. Wanneer de kool verzadigd is moet deze worden vervangen door nieuwe kool. De verzadigde kool wordt vervolgens verbrand of geregenereerd. Deze technologie wordt voor vele toepassingen gebruikt en is een bewezen technologie.

5.1.3 ED

Algemeen

Bij elektrodialyse worden geladen componenten door middel van selectief doorlaatbare membranen en elektrische lading uit de waterfase geconcentreerd. In figuur 6 staat dit proces schematisch weergegeven. Positief geladen deeltjes zullen worden aangetrokken door de anode, negatief geladen deeltjes door de kathode. Door membranen die enkel negatief geladen deeltjes doorlaten (en positief geladen deeltjes afstoten) om-en-om te plaatsen met membranen die enkele positief geladen deeltjes doorlaten, ontstaat er een geconcentreerde stroom tussen deze membranen: de concentraatstroom. Deze technologie is dus zeer geschikt om zouten te verwijderen.

Er bestaan verschillende type membranen, met verschillende eigenschappen. Zo laten monovalent specifieke membranen enkel eenwaardige ionen door en kunnen deze ionen dus selectief worden verwijderd. Een punt van aandacht is echter wel dat de membranen een selectiviteit hebben van 90%, waardoor 10% van de monovalente ionen niet worden verwijderd.



Figuur 6: Schematische weergave elektrodialyse proces met monovalente membranen (bron: GE).

ED in line-up variant TU Delft

In de voorgestelde line-up van de TU Delft wordt het permeaat van de keramische membranen door een ED unit met monovalente membranen geleid. Hierin ontstaat een geconcentreerde stroom (15% van het influent) met 90% van de eenwaardige zouten.

De verdunde stroom (85% van het influent) zal met name de 2 waardige zouten bevatten (+ 10% van de eenwaardige zouten). Door toepassing van een divalente ED-stap worden deze 2-waardige ionen uit de waterstroom verwijderd onder vorming van een concentraat stroom met de 2-waardige ionen.

5.1.4 MVR/Kristallisatie in de line-up variant TU Delft

De concentraatstromen van beide ED-stappen worden in afzonderlijke verdampers/kristallisatie-eenheden (MVR-1 & 2, zie figuur 2) verder ingedikt. Tijdens verdamping wordt het influent onder onderdruk verwarmd tot het kookpunt. Voor de verwarming kan stoom worden gebruikt (thermische verdamping) of elektriciteit. Met het oog op autonomie en ervan uitgaande dat elektriciteit altijd aanwezig zal zijn en stoom slechts in de nabijheid van CHP-installaties, is hier gekozen voor elektrische verdamping door middel van Mechanical Vapour Recompression installaties (MVR). Deze installaties is een bewezen technologie en eerder toegepast voor de behandeling van productiewater.

Het concentraat uit de eerste (monovalente) ED-stap zal voornamelijk NaCl bevatten. De maximale recovery (percentage gevormde distillaat ten opzichte van het influent) in de verdampers, MVR-1, is bepaald door de maximale oplosbaarheid van NaCl zouten, en ligt rond de 50%. De recovery van MVR-2, welke het concentraat van de divalente ED behandelt is bepaald door de oplosbaarheid van CaCl_2 . Door pH correctie in MVR-2 kan het carbonaat gehalte worden verlaagd waardoor CaCO_3 -vorming wordt voorkomen.

MVR installaties zijn goed in staat te opereren bij de geschatte huidige zoutconcentraties van het productiewater van Schoonebeek. Wanneer in de toekomst, zoals aangenomen, de zoutconcentratie verder afneemt zal dit resulteren in een verhoging van de recovery rate.

De gevormde brijnstromen uit beide verdampers wordt door een warmtewisselaar in kristallisatiereactoren gerecirculeerd. In de warmtewisselaar wordt condenserend stoom als energiebron gebruikt, wat condenseert in de warmtewisselaar. Door verdamping van het water slaan zouten neer als kristallen. Hierbij ontstaat een ingedikte brijnstroom, welke verder wordt behandeld in een centrifuge. De waterfase uit de centrifuge wordt teruggeleid naar de kristallisatiereactor. Het gevormde slib uit crystalliser-1 zal voornamelijk uit NaCl-zout bestaan en kan na verwerking als strooizout worden gebruikt, terwijl de zoutstroom van de divalente ED als afvalstof afgevoerd zal moeten worden.

5.1.5 N/DN (nitrificatie/denitrificatie)

Ondanks de toepassing van strippen is de verwachting dat de resulterende NH_4^+ -concentratie in de te lozen stromen (distillaat MVR + Crystalliser-1, effluent divalente ED-stap en distillaat MVR + Crystalliser-2, zie figuur 2), niet aan de lozings-eisen zal voldoen. Daarom is rekening gehouden met een additionele verwijdering van ammonium, door middel van biologische nitrificatie/denitrificatie (N/DN). In dit proces wordt NH_4^+ eerst omgezet in NO_3^- (nitraat). Hiervoor is de inbreng van zuurstof nodig. Het gevormde

nitraat wordt vervolgens door de omgezet in stikstofgas. Voor deze laatste stap is een C-bron nodig. Deze moet eventueel worden gedoseerd.

Dit proces is een zeer wijd toegepaste en bewezen technologie. In vergelijking met de overige processtappen heeft het N/DN proces een lage CAPEX en OPEX.

5.2 Massabalans van de voornaamste stromen

In dit hoofdstuk worden de voornaamste processtromen welke van belang zijn voor de LCA studie uit de bovenstaande processen kort samengevat. In hoofdstuk 5 zullen de kosten voor de OPEX en CAPEX worden gegeven.

Keramische membranen

De keramische membranen hebben een geschatte recovery 95%. Dit betekent dat 400 m³/h terug naar de OBI worden geleid. Afhankelijk van de vervuiling van de membranen zal periodiek gereinigd moeten worden.

ED

In de voorgestelde line-up van de TU Delft wordt het permeaat van de keramische membranen door een ED unit met monovalente membranen geleid. Hierin ontstaat een geconcentreerde stroom (15% van het influent, ongeveer 1200 m³/d) met 90% van de eenwaardige zouten. De verdunde stroom (6800 m³/d) zal met name de 2 waardige zouten bevatten (+ 10% van de eenwaardige zouten) en verder worden behandeld in een tweede ED stap, welke een geschatte recovery heeft tussen de 50-85% (3400 – 5800 m³/d).

Stripper

Het productwater uit de eerste –monovalente- ED, 1200 m³/d wordt door een stripper geleid voor ammoniaverwijdering. Geschat is dat hiervoor 83 MWh/d aan stoom zal worden geïnjecteerd.

MVR & Kristallisatie

Het concentraat uit de eerste (monovalente) ED-stap zal voornamelijk NaCl bevatten. De maximale recovery in de verdamer, MVR-1, is bepaald door de maximale oplosbaarheid van NaCl zouten, en ligt rond de 50%; hetgeen overeenkomt met 600 m³/d. De brijnstroom naar de kristallisatie-eenheid-1 ook 600 m³/d.

De recovery van MVR-2, welke het concentraat van de divalente ED behandeld is bepaald door de oplosbaarheid van CaCl₂. Geschat is dat de recovery hier rond de 97% zal liggen. Afhankelijk van de recovery van de voorgeschakelde (divalente) ED membranen resulteert dit in een distillaatstroom die tussen de 3300 en 5600 m³/d zal liggen. De gevormde brijnstroom naar de kristallisatie-eenheid (2) ligt dan tussen de 100 en 200 m³/d.

Het gevormde slib uit crystalliser-1 zal voornamelijk uit NaCl-zout bestaan en kan na verwerking als stroozout worden gebruikt, terwijl de zoutstroom van de divalente ED als afvalstof afgevoerd zal moeten worden. Deze variant heeft wel het voordeel dat, in vergelijking met andere line-ups, theoretisch meer stroozout (160 ton/d) en minder afvalproduct (40 ton/d) kan worden geproduceerd.

Biologische Nitrificatie/denitrificatie

Aangenomen is dat in deze stap 7500 m³/d zal worden behandeld. Het energieverbruik wordt met name bepaald door de benodigde beluchting voor dit proces en is ruw geschat op 1 MWh/d

Overzicht procesgegevens

In onderstaande tabel staan de procesgegevens voor de variant van de TU Delft per processtap weergegeven.

Tabel 6: Overzicht verbruik en procesdata van de variant TU Delft.

Processtap	Eenheid	SiC Membraan	GAC	ED1	ED2	MVR + Crystal. 1	MVR + Crystal. 2	Stripper	N/DN	Overige	Totaal
Influent	m ³ /d	8000									8000
Behandeld effluent	m ³ /d								7000		7000
Gemengd zout (=afval)	Ton/d				40						40
Strooizout	Ton/d			160							160
Consumptie											
Gas	MWh/d										
Stoom	MWh/d					463	21	83			567
Elektriciteit	MWh/d	4		13	2	53	51		1		124
Totaal energie	MWh/d										691
Actieve kool	Ton/j		24								24

Tabel 7: CAPEX en OPEX van de variant TU Delft (zuivering en lozing, zonder injectie van de reststroom).

Processtap	Eenheid	SiC Membraan	GAC	ED1	ED2	MVR + Crystal.1	MVR + Crystal.2	Stripper	N/DN	Overige	Totaal
CAPEX											
Proces units	MIn EUR	9	2	7	6	21		1	6	6	58
Aansluiting op OBI (civil, pijpleidingen en controlesysteem, vast zout logistiek, opslagtanks, tijdelijke equipment)											20
Overheads (contingency, mark escalatie, inflatie, transport, project management.)											41
Totaal water-behandeling											119
H2S mitigatie pijplijn											110
OPEX											
Energie	MIn EUR/j			0,5		10,5	2,5	1,5			15
Reststoffen	MIn EUR/j										1
Chemicaliën	MIn EUR/j										
Operaties en onderhoud	MIn EUR/j				1					2	3
Totaal OPEX	MIn EUR/j										19
CAPEX + 10 j OPEX	MIn EUR										419

Vanwege de grote onzekerheid is voor de berekening van deze variant een grovere afronding gebruikt.

Het kopje 'overige' bestaat onder andere uit de investeringskosten voor tanks, pompen, transformatoren en MCC gebouwen. Voor de opbouw van de kosten wordt gerefereerd naar de voetnoot onder tabel 3 uit paragraaf 3.3.

De TUD variant zal om specifiek voor de Schoonebeek waterbehandeling ontwikkeld te worden, een grotere onzekerheid hebben in definitie van de scope dan de Saltech variant en daardoor een hogere onzekerheid in kosten hebben. Zoals aangegeven hebben de Tussenrapport variant en Saltech een onzekerheid van -25% tot +40%. De TUD variant zal een ruim grotere onzekerheid hebben, omdat dit concept zich nog in de research & development fase bevindt.

5.3 Risico's

De toepasbaarheid van deze variant hangt sterk af van 2 technologieën: de keramische membranen en de elektrodialyse membranen. Beide technologieën moeten uitvoerig getest worden voordat deze op full-scale kunnen worden toegepast. De operationele aspecten worden voornamelijk bepaald door de verontreinigen in het te behandelen water. Daarom zullen de technologieën getest moeten worden op het productiewater van Schoonebeek. Binnen Shell en NAM zijn reeds pilot-testen gedaan met keramische

membranen op productiewater, waardoor deze technologie als verder ontwikkeld kan worden beschouwd dan elektrolyse. Echter, deze testen zullen moeten worden uitgebreid om meer te kunnen zeggen over de optimale procescondities, verontreiniging, reiniging en levensduur van de membranen.

Deze parameters zijn tevens van belang voor de toepassing van elektrolyse, maar zullen nog veel verder onderzocht moeten worden omdat elektrolyse voor productiewatertoepassingen zich nog meer in de research & development fase bevindt dan keramische membranen en minder praktijk data beschikbaar zijn. Deze technologie wordt al wel gebruikt voor andere toepassingen, zoals onder andere voor proceswater (ultra puur) bereiding.

Zoals aangegeven is het nitrificatie/denitrificatie proces wereldwijd een veel toegepaste en bewezen technologie. Echter, biologische systemen zijn potentieel gevoeliger voor verstoringen en fluctuaties in de bedrijfsvoering. Testen zullen moeten worden uitgevoerd om deze aspecten in de van TU Delft variant in de praktijk voor Schoonebeek nader te bepalen.

6 Conclusies

In tabel 8 staan de enkele OPEX en CAPEX data voor de verschillende varianten voor de lozing op oppervlakte water gegeven. Concluderend kan worden gesteld dat de gepresenteerde nieuwe varianten (Salttech en TU Delft) in beginsel tot aanmerkelijke besparingen in energieverbruik kunnen leiden ten opzichte van de Tussenrapport variant met MVR en kristallisatie technologie.

Uit de berekeningen volgt dat de toepassing van de Salttech technologie het laagste energieverbruik heeft: 608 MWh/d. De geschatte CAPEX zijn voor de varianten Salttech en de TU Delft gelijk: 229 In alle zuiveringsvarianten is een schatting opgenomen van 110 mln Euro voor het volledig H₂S bestendig maken van de pijpleiding vanaf de productieputten naar Schoonebeek installatie, waarmee het gebruik van H₂S-binder voorkomen kan worden.

Doordat de line-up van de TU Delft het laagste chemicaliënverbruik heeft, zijn voor deze variant de resulterende CAPEX + 10 jaar OPEX kosten ruimschoots lager dan de NAM-variant en lager dan voor de Salttech variant: met 419 mln Euro staat tot 580 en 501 mln Euro, respectievelijk.

De TU Delft en Salttech varianten kunnen ook leiden tot een aanzienlijke reductie in vaste afvalproducten.

Tabel 8: Overzicht enkele OPEX en CAPEX van de bestudeerde varianten.

	Eenheid	NAM	Salttech	TU Delft
Totaal energieverbruik	MWh/d	1017	608	691
CAPEX	Mln €	233	229	229
CAPEX + 10 jr OPEX	Mln €	580	501	419

Hoewel de Salttech variant een lager energieverbruik (in MWh/d) heeft dan de TU Delft variant, zijn de CAPEX plus OPEX voor een periode van 10 jaar lager (in Mln EUR) voor de TU Delft variant. Dit komt door het feit dat de Salttech variant met name op elektriciteit wordt bedreven en de kristallisatie-units in de varianten NAM en TU Delft op stoom. Doordat stoom (gasinkoop) goedkoper is dan elektriciteit, zijn de operationele kosten op de langere termijn daardoor lager voor de TU Delft variant.

Ten slotte kan in de varianten de NH₃ stripper vervangen worden door een biologische zuiveringsstap waarbij ammonium door bacteriën wordt omgezet in nitraat en vervolgens stikstofgas. Deze variant zal een aanzienlijke lager energieverbruik hebben ten opzichte van strippen, maar een hogere CAPEX. Deze variant is echter hier niet meegenomen hier omdat deze –voor de toepassing zoals hier beschreven in de MVR en Salttech line-ups - als minder robuust is beschouwd. Een andere optie zou zijn het strippen met lucht.

De feitelijke besparingen die met deze technologieën bereikt kunnen worden zullen nader moeten worden onderzocht. De resultaten van deze studie geven duidelijk aan dat beide technologieën interessant zijn om in de toekomst verder te onderzoeken.

Ook de Tussenrapport variant zou verder geoptimaliseerd kunnen worden, onder andere op het gebied van warmte overdracht. Echter, deze optimalisaties zullen niet kunnen leiden een lager energieverbruik dan de Salttech variant.

In het onderstaande worden de voornaamste conclusies kort opgesomd:

- De Tussenrapport variant scoort het slechtst op energieverbruik en op kosten.
- De TUD scoort het best op operationele kosten vanwege lagere energiekosten en vanwege laag chemicaliënverbruik.
- De Salttech variant scoort het best op energiegebruik (milieu).
- Alle drie varianten behoeven een forse investering in H₂S bestendig maken van de pijpleiding vanaf de productieputten naar Schoonebeek installatie, naar schatting 110 miljoen, zodat er zonder H₂S-binder gewerkt kan worden.
- De investeringen voor de zuiveringsunits verdelen zich over de specifieke zuiveringsfabriek en alle overige kosten zoals aansluitingen op de Schoonebeek installatie en contingency (grote reservering, vanwege de onzekerheid omdat niet alle elementen in detail zijn ontworpen). Deze tweede post bedraagt voor elk van de varianten ongeveer 61 miljoen euro.
- De investeringen in de feitelijke zuiveringsunits zijn hoger voor de Tussenrapport variant (60 mln EUR), de Salttech variant en de TUD variant zijn gelijk en bedragen 58 miljoen Euro.
- Het grootste verschil in kosten zit in de bedrijfslasten, deze zijn voor de Tussenrapport variant, de Salttech variant en de TUD variant respectievelijk ongeveer 35 en 27 en 19 miljoen Euro per jaar.

Voor de toekomstige uitwerking van de verschillende varianten zou verder nog gekeken kunnen worden naar de volgende mogelijke optimalisaties:

- Het gebruik van een ammoniastripper in de NAM en Salttech varianten kan mogelijk worden voorkomen met een biologische reactor, die meer kost (extra +/- 10mln) maar veel minder energie gebruikt (minus 3,5 mln per jaar) en dus een besparing geeft van ongeveer 35 miljoen Euro in de netto-contante-waarde berekening.
- Een alternatief voor het gebruik van een MVR met een hoog elektriciteit gebruik is mogelijk een TVR installatie die op gas gestookt kan worden. Dit geeft een mogelijk een serieuze besparing in kosten omdat de kosten van gas veel lager zijn dan die voor elektriciteit. Echter, dit type heeft een beperkt werkbereik waardoor in de praktijk het rendement lager zal zijn. Daar staat tegenover dat TVR's met minder bewegende delen werken dus minder last hebben van slijtage. Binnen Shell en NAM zijn nog betrekkelijk weinig operationele data beschikbaar over deze installaties.